干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

哈萨克斯坦城镇化与生态环境耦合过程与机理分析

黄金川[1,2,3]， 娜 英[1,2,3]
（1. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室，北京 100101；2. 中国科学院地理科学与资源研究所，北京 100101；3. 中国科学院大学，北京 100049）

摘 要：在一带一路背景下，探索哈萨克斯坦城镇化与生态环境间的复杂关系具有重要的意义。通过运用熵技术支持下的变异系数法和多目标模糊隶属度函数分别对哈萨克斯坦城镇化与生态环境进行综合测度，构建综合指数，基于改进的Tapio脱钩分析模型分析了城镇化与生态环境的动态耦合关系并用阈值分析法分析其静态耦合关系。结果表明：(1) 哈萨克斯坦综合城镇化的高值主要分布于西部的石油开采区及中部与东北部的工业区，低值主要分布于以农业经济为特点的南部和北部的部分区域。(2) 生态环境综合水平高值分布于以服务业为主导、生态环境保护响应度较高的努尔苏丹市和阿拉木图市，低值则主要分布在碳排放相对活跃的西部油气开采区。(3) 2000—2015年哈萨克斯坦城镇化与生态环境的动态耦合关系主要为强解耦、弱解耦、强负解耦、衰退性解耦和扩张负解耦状态；总结归纳耦合机理发现，生态环境保护响应度、所处城镇化阶段、农业用水总量和国际外部经济环境是影响哈萨克斯坦城镇化与生态环境耦合关系的主要驱动因素。

关 键 词：生态环境；综合城镇化；耦合过程；解耦模型；哈萨克斯坦
文章编号：

哈萨克斯坦城镇化的发展主要依赖于世界市场原材料价格上涨及大量自然资源的消耗，近20多年来伴随着优势能矿资源的大规模开发和一系列经济改革战略的成功推行，其基本国情已经从农业经济大国发展成为了能矿资源开发大国。然而，哈萨克斯坦城镇化发展伴随的"高污染、高消耗、高排放"问题，加上区域本身生态系统的脆弱性、敏感性[1-2]，使其成为城镇化过程与资源环境交互影响深远、胁迫关系复杂的人类活动密集区。近几十年来，哈萨克斯坦由于人类活动引发了能源短缺[3]、水土资源退化[3]、能源环境污染[4]、地下地表水质污染[5]、陆地水储存下降[6]、煤炭与铁矿开采和加工业所引发的空气污染[7]和土地荒漠化[8]等资源环境问题，还有震惊全球的咸海危机[8-9]。因此，有必要厘清哈萨克斯坦城镇化与生态环境的交互作用过程并进行定量测度。但目前有关研究基本为空白，已有研究尽管提及了哈萨克斯坦人类活动与生态环境之间的相互关系[10-14]，却很少对城镇化与生态环境的相互作用关系进行定量分析；就研究尺度而言，当前研究尺度主要涵盖整个中亚[15]、中亚国家[16]、单个州、流域[17]等尺度，而对中观层面的州尺度及其横向对比研究相对薄弱。

哈萨克斯坦是一个多民族聚居、多文化、多生态、多资源共生的特殊地区。同时具有缺水、生态脆弱、环境敏感等地理特征，是城镇化过程与生态环境交互影响深远、胁迫关系复杂的区域，其城镇化发展兼具一般性与特殊性，因此研究哈萨克斯坦城镇化与生态环境耦合关系具有理论与实践意义。鉴于此，本文参考并借鉴PRESS模型和PSR框架对哈萨克斯坦城镇化与生态环境进行综合测度，利用阈值分析法对二者的静态耦合进行分析，并构建可持续视角下的城镇化与生态环境动态耦合分析框架，深入研究哈萨克斯坦2000—2015年城镇化与生态环境耦合过程，以期为哈萨克斯坦城镇化高

收稿日期：2020-03-25； **修订日期**：2020-06-08
基金项目：中国科学院战略性先导科技专项（XDA20040400）资助
作者简介：黄金川（1973-），男，副研究员，博士，主要从事城市与区域规划研究. E-mail: huangjc@igsnrr.ac.cn

质量发展提供参考。

1 研究区概况

哈萨克斯坦位于中亚北部，南与土库曼斯坦、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦接壤，北与俄罗斯接壤，东与中国接壤，西与里海相连。哈萨克斯坦包括14个州和2个市（阿拉木图市和努尔苏丹市）。14个州包括北部的阿克莫拉州、科斯塔奈州、巴甫洛达尔州和北哈萨克斯坦州，中部的卡拉干达州，东部的东哈萨克斯坦州，西部的阿克托别州、阿特劳州、西哈萨克斯坦州和曼格斯套州，南部的阿拉木图州、江布尔州、南哈萨克斯坦州和克孜勒奥尔达州（图1）。哈萨克斯坦总面积272.49 km^2，占中亚地区面积的68%。2017年，其常住人口1803.8×10^{4}人，国内生产总值1594.7×10^8 USD，分别占中亚五国的25.30%和60.11%。自1993年以来，石油、天然气和矿产的开发吸引了超过400×10^8 USD的外国投资，约占该国工业总产值的57%（约占国内生产总值的13%）。总体而言，哈萨克斯坦是中亚地区城镇化发展进程相对靠前和经济发展相对发达的区域。

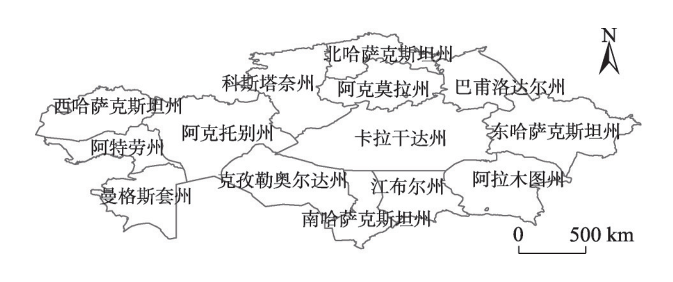


图1 哈萨克斯坦行政区划示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the administrative division of Kazakhstan

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与指标体系

2000—2015年哈萨克斯坦州尺度的社会经济与生态环境数据来自于《哈萨克斯坦人口统计年鉴》《哈萨克斯坦环境保护与可持续发展统计年鉴》《哈萨克斯坦区域统计年鉴》《哈萨克斯坦行业统计年鉴》《哈萨克斯坦经济统计年鉴》，个别年份缺失数据运用相邻年份插值补全。其中，人均收入水平与人均GDP参考世界银行数据库中哈萨克斯坦各年官方汇率转化为美元。人均生态用地数据运用欧空局土地利用数据测算，人均可利用淡水资源量根据哈萨克斯坦国家尺度可利用淡水资源量与流域水资源量估计，流域水资源量参考了国外相关文献[18]。

本文借鉴已有的城镇化与生态环境研究成果的指标体系[19-22]，在深入掌握与理解城镇化理论与内涵的基础上，构建了适用于哈萨克斯坦的城镇化与生态环境的综合评价体系。针对综合城镇化指标体系，选取了人口城镇化、经济城镇化、社会城镇化和空间城镇化作为一级指标，从4个维度选取了11个二级指标；针对综合生态环境指标体系，借鉴P-S-R（压力-状态-响应）指标框架，从3个维度选取9项二级指标，构建生态环境综合评价指标体系（表1）。哈萨克斯坦的经济发展主要依赖于能源资源采掘出口，制造业在经济发展中的比重和贡献较低，因此为避免由于能源产业对经济城镇化水平的影响，同时，为了客观体现城镇化过程中的产业结构优化程度，本研究在经济城镇化子系统中增加了制造业增加值占GDP的比重这一指标。

2.2 研究方法

2.2.1 指标预处理与权重求解 （1）多目标模糊隶属度函数标准化。考虑到由于原始指标数据量纲差异大、单位不同，不具备可比性，须对其进行无量纲化处理，为避免由于部分数据最大值与最小值间差异过大而影响标准化结果，本文选用了多目标模糊隶属度函数标准化方法，公式详见文献[23]。

对于正向指标，其隶属度公式为：

$$s_{\lambda_{ij}}=\begin{cases}m_1 & x_{\lambda_{ij}}<p_1\\ \dfrac{m_{n+1}-m_n}{p_{n+1}-p_n}\times\left(x_{\lambda_{ij}}-p_n\right)+m_n, & p_n\leqslant x_{\lambda_{ij}}\leqslant p_{n+1}(1\leqslant n\leqslant 5)\\ m_6 & x_{\lambda_{ij}}>p_6\end{cases} \tag{1}$$

对于负向指标，其公式为：

$$s_{\lambda_{ij}}=\begin{cases}m_1 & x_{\lambda_{ij}}>p_1\\ \dfrac{m_{n+1}-m_n}{p_n-p_{n+1}}\times\left(p_n-x_{\lambda_{ij}}\right)+m_n, & p_{n+1}\leqslant x_{\lambda_{ij}}\leqslant p_n(1\leqslant n\leqslant 5)\\ m_6 & x_{\lambda_{ij}}<p_6\end{cases} \tag{2}$$

式中：$s_{\lambda_{ij}}$为第λ年i研究区第j项指标的标准化值；$x_{\lambda_{ij}}$为第λ年i研究区域第j项指标的实际值；m_n为城镇化综合指数分级标准的阈值；p_n为具体指标分级标准的阈值；本文将城镇化（或生态环境）综合指

表1 城镇化与生态环境评价指标体系

Tab. 1 Index system of the comprehensive level of urbanization and ecological environment in Kazakhstan

目标层	准则层	指标层	单位	综合权重
综合城镇化	人口城镇化	城镇人口占比	%	0.09
		二三产业从业人员占比	%	0.12
	经济城镇化	第二产业增加值占比	%	0.14
		人均GDP	USD	0.11
		第三产业增加值占比	%	0.06
		制造业增加值占GDP比重	%	0.11
	空间城镇化	城镇人口密度	人·km^{-2}	0.06
		公路路网密度	km·km^{-2}	0.07
	社会城镇化	人均收入	USD	0.10
		万人拥有的在校大学生数	人·10^4人$^{-1}$	0.07
		万人拥有的专业医生数	人·10^4人$^{-1}$	0.07
生态环境	生态环境压力	用水总量	10^6 m^3	0.16
		人均工业废水排放量	kg·人$^{-1}$	0.12
		人均空气污染排放量	kg·人$^{-1}$	0.19
	生态环境状态	人均生态用地面积	km^2·人$^{-1}$	0.08
		人均可利用淡水资源量	m^3·人$^{-1}$	0.11
	生态环境响应	生态环境保护投资费用	10^6 KZT	0.10
		污染物的回收利用率	%	0.11
		污染物的解毒净化率	%	0.09
		单位GDP耗水量	m^3·KZT^{-1}	0.04

数分为低水平、较低水平、中等水平、较高水平、高水平5级，对应的阈值区间分别为[m_1, m_2)、[m_2, m_3)、[m_3、m_4)、[m_4、m_5)、[m_5、m_6]，p_n 主要通过参考国内外相关文献和国内外发达国家与地区的发展经验取值，具体方法详见详见文献[23]。

（2）权重求解。为了消除单一客观赋权法的偏差，避免主观赋权法的随意性及误差，本文选取熵权法与变异系数法相结合的方式计算权重使结果更具准确性与可靠性。公式详见文献[24]。

第 j 个指标的城镇化（或生态环境）综合权重：

$$P_j = \sqrt{w_j \times u_j} \tag{3}$$

第 i 个州主体的城镇化（或生态环境）子系统的发展指数：

$$P_i = \sqrt{W_i \times U_i} \tag{4}$$

式中：w_j、u_j 分别为第 j 项指标的熵权法与变异权重值；W_i、U_i 分别为第 i 个州结合熵值法和变异赋权法计算的城镇化（或生态环境）各子系统发展指数。

2.2.2 解耦模型 解耦（Decoulping）理论最早由经济合作与发展组织（OECD）提出，用于形容阻断经济增长与资源消耗或环境污染之间的联系，其应用和发展逐步受到广泛关注。本文在构建区域综合城镇化指数与综合生态环境压力指数的基础上，借鉴Tapio的研究，进一步构建哈萨克斯坦城镇化与生态环境压力的解耦模型，具体公式如下：

$$\varepsilon_{t_k} = \frac{\Delta \mathrm{EPI}_{t_k}}{\Delta \mathrm{UI}_{t_k}} = \frac{\left(\mathrm{EPI}_{t_{ks}} - \mathrm{EPI}_{t_{ke}}\right) / \mathrm{EPI}_{t_{ks}}}{\left(\mathrm{UI}_{t_{ks}} - \mathrm{UI}_{t_{ke}}\right) / \mathrm{UI}_{t_{ks}}} \tag{5}$$

$$(k = 1, 2, 3, \cdots, n)$$

式中：ε_{t_k} 为第 t_k 时期的解耦状态；$\Delta \mathrm{EPI}_{t_k}$ 为第 t_k 时期生态环境压力指数的变化率；$\mathrm{EPI}_{t_{ks}}$ 和 $\mathrm{EPI}_{t_{ke}}$ 分别为 t_k 时期初和末的生态环境压力指数；$\Delta \mathrm{UI}_{t_k}$ 为第 t_k 时期研究区的综合城镇化指数的变化率；$\mathrm{UI}_{t_{ks}}$、$\mathrm{UI}_{t_{ke}}$ 分别为第 t_k 时期初和末的综合城镇化指数；根据生态环境与城镇化水平增长率、脱钩指数（ε_{t_k}），可判别城镇化系统与生态环境系统的解耦状态，如表2所示。

3 结果与分析

3.1 综合指数分析

3.1.1 哈萨克斯坦城镇化综合水平时空演变特征 总体而言，2000—2015年哈萨克斯坦综合城镇化水平

表2　城镇化与生态环境指数解耦状态判别标准

Tab. 2　Discrimination between the decoupling state of urbanization level and ecological environment pressure

解耦类型	解耦状态	生态环境指数增长率	城镇化增长率	脱钩指数(ε_{t_k})
解耦	衰退解耦	−	−	$\varepsilon_{t_k}>1.2$
	弱解耦	−	+	$\varepsilon_{t_k}<0.0$
	强解耦	+	+	$0.0<\varepsilon_{t_k}<0.8$
连接(耦合)	扩张耦合	+	+	$0.8<\varepsilon_{t_k}<1.2$
	衰退耦合	−	−	$0.8<\varepsilon_{t_k}<1.2$
负解耦	扩张负解耦	+	+	$\varepsilon_{t_k}>1.2$
	弱负解耦	+	−	$\varepsilon_{t_k}<0.0$
	强负解耦	−	−	$0.0<\varepsilon_{t_k}<0.8$

注:+表示指数增长率为正值;−表示指数增长率为负值。

增长幅度较大。2000—2004年哈萨克斯坦综合城镇化水平主要为中等和较低水平,中值主要分布于中部和东北部区域,包括卡拉干达州、巴甫洛达尔州和东哈萨克斯坦州;2004年起阿特劳州、西哈萨克斯坦州、阿克托别州、巴甫洛达尔州和卡拉干达州依次步入较高城镇化水平阶段,南哈萨克斯坦州和阿拉木图州则发展相对滞缓,长期止步于较低水平的城镇化阶段,其余各州相继步入中等水平的城镇化阶段。

如图2所示,哈萨克斯坦综合城镇化的较高值

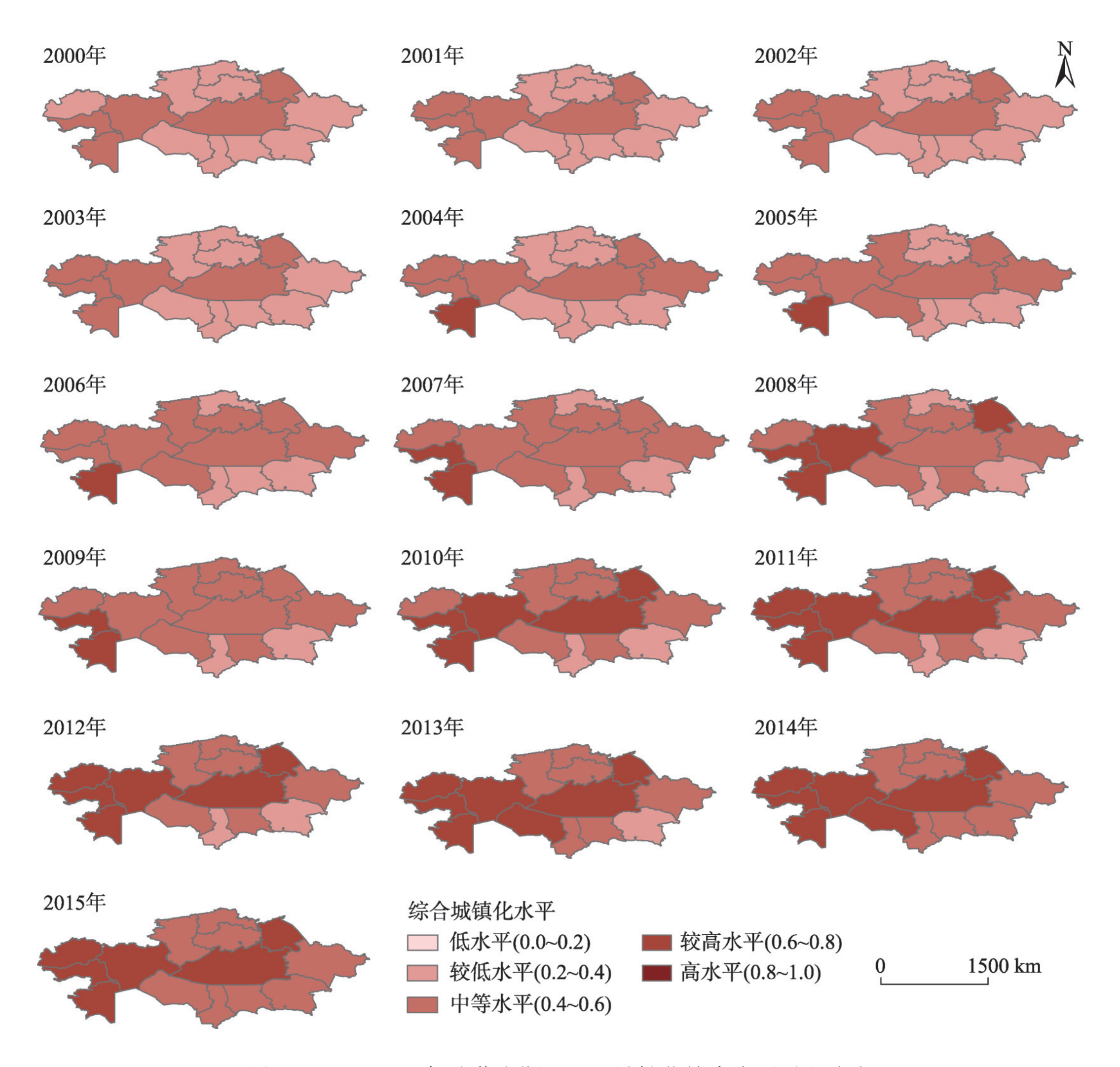


图2　2000—2015年哈萨克斯坦地区城镇化综合水平时空演变

Fig. 2　Comprehensive level of urbanization of the oblasts in Kazakhstan during 2000—2015

区主要分布于中部的老工业区、西部的石油开采区曼格斯套州和东北部的重工业区巴甫洛达尔州。城镇化水平低值主要分布于南哈萨克斯坦州、北哈萨克斯坦州和阿拉木图州。哈萨克斯坦南部以草原和山地为主，气候条件温和，适宜发展果蔬业，北部相对阴冷，为重要粮食产地。哈萨克斯坦1/4粮食都来自于科斯塔奈州，2014、2015年粮食产量分别达到520×10^4 t、500×10^4 t。由于科斯塔奈州以发展农业为主，矿产资源相对匮乏，区域经济发展水平普遍低于全国水平，基础设施相对较少，人力资源相对少，故前期2000—2004年城镇化综合水平较低，随着工业化的发展，从2005年开始其城镇化水平逐步步入中等水平。阿拉木图市作为哈萨克斯坦工业门类较为齐全且规模最大的城市，努尔苏丹作为哈萨克斯坦的首都，总体上辐射带动作用不显著，涓滴效应明显，阿拉木图州和阿克莫拉州城镇化综合水平较低。

3.1.2 哈萨克斯坦生态环境水平时空演变特征 哈萨克斯坦生态环境指数则随着时间波动明显，增幅总体较小(图3)。因气候、干旱程度、土地利用类型差异大、面积差异悬殊，各行政单元的生态环境综合水平差异较大。由于以服务业为主导产业，工业污染与用水压力较低，同时污染物的处理与净化率水平较高，生态环境响应度量良好，努尔苏丹市、阿拉木图市的生态环境水平高于各州平均水平，处于第一梯队。东哈萨克斯坦州、阿拉木图州、北哈萨克斯坦州，生态环境状态水平处于较高或高水平(0.6~1.0)，生态环境压力处于较低压力水平或低水平，生态环境响应度处于中等或较高水平，故综合生态环境水平良好，处于第二梯队。曼格斯套州、阿特劳州、巴甫洛达尔州和卡拉干达州处于第四梯队。近年来，卡拉干达州加大环境治理力度，其空气污染排放量由2003年的1415.4×10^3 t迅速降到了2015年的433×10^3 t，其综合生态环境水平不断提

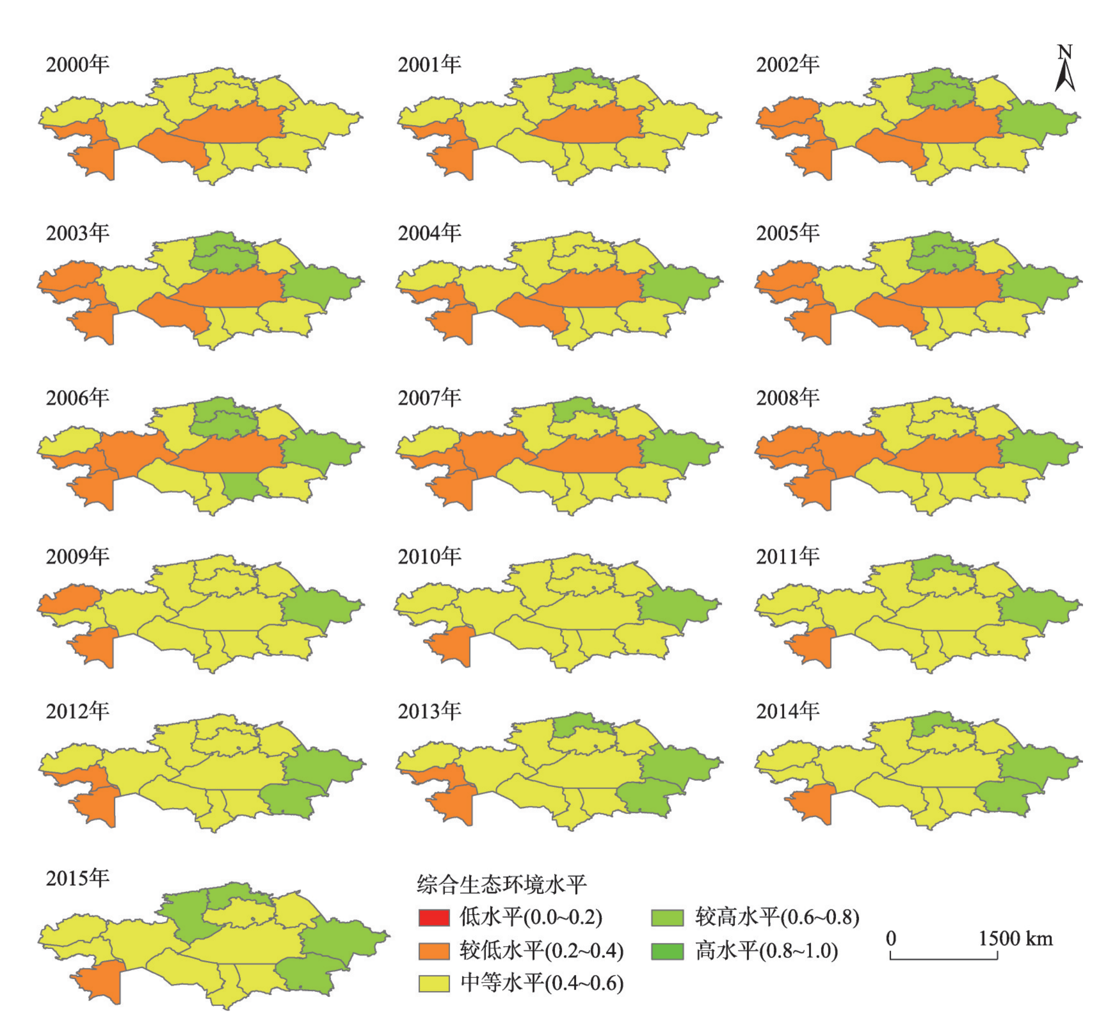


图3 2000—2015年哈萨克斯坦地区生态环境综合水平时空演变

Fig. 3 Comprehensive level of environment of the oblasts in Kazakhstan during 2000—2015

升；巴甫洛达尔州从2003年到2015年空气污染排放量一直保持在800×10³ t左右，综合生态环境水平一直保持在0.4~0.5；曼格斯套州、阿特劳州等地区，其荒地面积占比分别高达66.44%和85.97%，森林覆盖度低于0.1%，草地覆盖面积比例也较少，生态环境本底状态较差，加上油气行业的空气污染排放，综合生态环境质量较差。其余几个州则位列第三梯队，生态环境水平波动变化。

3.2 哈萨克斯坦城镇化与生态环境的动态耦合度分析

图4和表3分别显示了哈萨克斯坦城镇化与生态环境解耦状态时空演变趋势和解耦关系计算结果。从2000—2015年逐年变化来看，哈萨克斯坦地州城镇化与生态环境解耦关系的动态变化主要表现为：强解耦、弱解耦、强负解耦、衰退性解耦和扩张负解耦状态。这5种状态出现的期数占统计期数的48.9%、17.0%、16.6%、11.4%和11.4%，强弱解耦状态出现的频率合计为65.9%，明显高于剩下几种状态的综合，这是因为城镇化的变化幅度高于生态环境压力综合指数的变化幅度，由于各州城镇化各系统与生态环境各系统多呈现波动变化状态，故二者的动态关系随时间也多呈现出不稳定变化。

综合而言，强解耦广泛分布于3类区域：第一类为城镇化速度变化幅度不大且生态环境响应度良好的区域，如阿克莫拉州、阿克托别州、西哈萨克斯坦州等，由于城镇化发展速度在生态环境承载力范

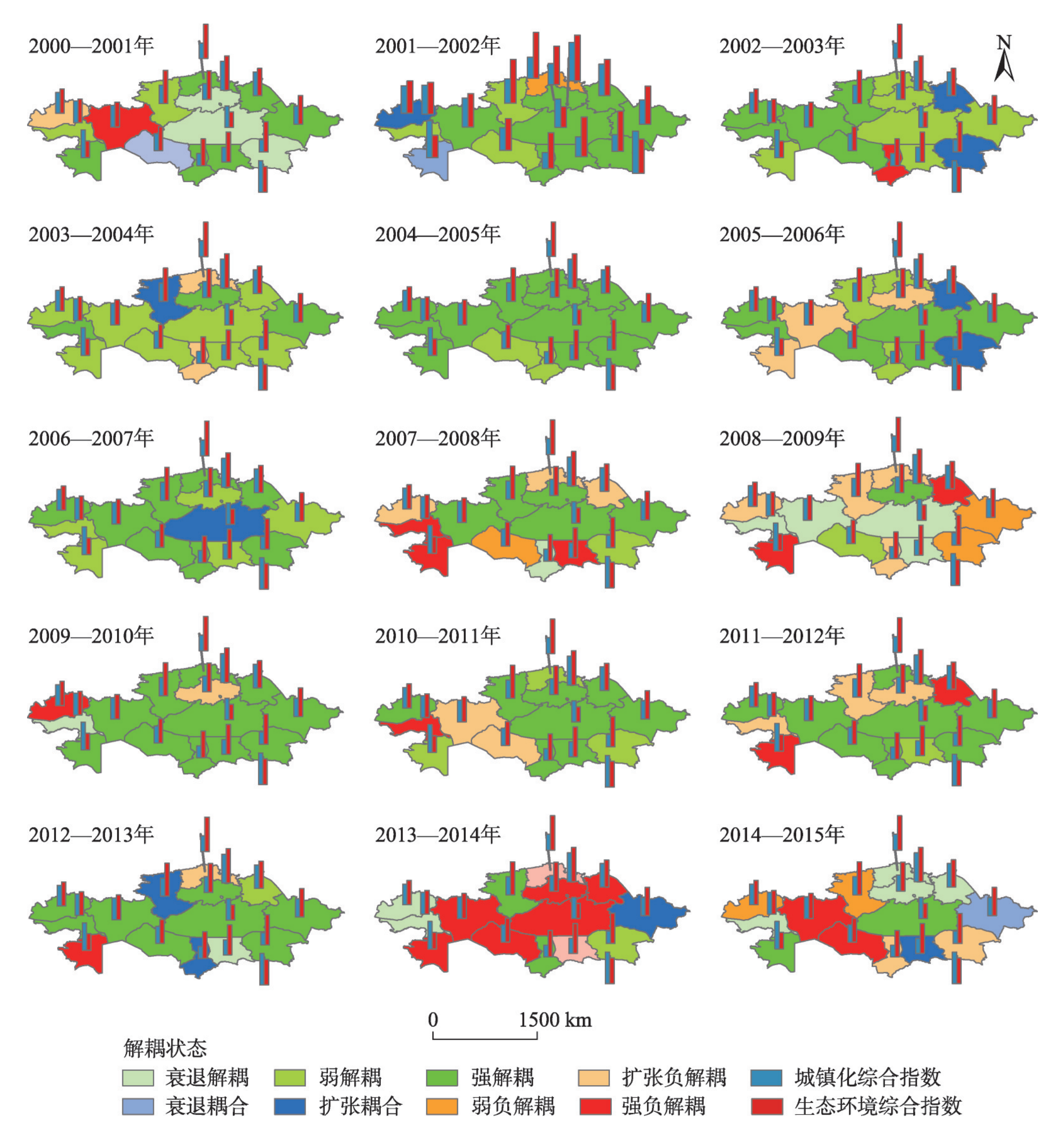


图4 2000—2015年哈萨克斯坦城镇化水平与生态环境解耦状态时空演变

Fig. 4 Spatiotemporal evolution of the decoupling state of urbanization and ecological environment of the oblasts in Kazakhstan during 2000—2015

表3 2000—2015年哈萨克斯坦各州城镇化与生态环境解耦状态分类汇总统计

Tab. 3 Statistics on the decoupling status of urbanization and ecological environment in Kazakhstan during 2000—2015 /%

区域	衰退解耦	弱解耦	强解耦	扩张耦合	衰退耦合	扩张负解耦	弱负解耦	强负解耦
阿克莫拉州	12.5	12.5	50.0	0.0	0.0	12.5	0.0	12.5
阿克托别州	11.8	5.9	47.1	0.0	0.0	11.8	0.0	23.5
阿拉木图州	15.8	21.1	31.6	10.5	0.0	15.8	5.3	0.0
阿特劳州	20.0	15.0	30.0	0.0	0.0	20.0	0.0	15.0
西哈萨克斯坦州	13.3	6.7	46.7	6.7	0.0	13.3	6.7	6.7
江布尔州	15.8	21.1	26.3	5.3	0.0	15.8	5.3	10.5
卡拉干达州	11.1	11.1	50.0	5.6	0.0	11.1	0.0	11.1
科斯塔奈州	0.0	21.4	50.0	14.3	0.0	0.0	7.1	7.1
克孜勒奥尔达州	5.9	23.5	35.3	0.0	5.9	5.9	5.9	17.6
曼格斯套州	0.0	25.0	31.3	0.0	6.3	0.0	6.3	31.3
南哈萨克斯坦州	6.7	13.3	53.3	6.7	0.0	6.7	6.7	6.7
巴甫洛达尔州	5.9	11.8	35.3	17.6	0.0	5.9	5.9	17.6
北哈萨克斯坦州	7.7	23.1	38.5	0.0	0.0	7.7	7.7	15.4
东哈萨克斯坦州	0.0	11.8	58.8	5.9	5.9	0.0	11.8	5.9
努尔苏丹市	11.8	0.0	52.9	0.0	0.0	11.8	0.0	23.5
阿拉木图市	11.8	11.8	41.2	0.0	0.0	11.8	0.0	23.5
哈萨克斯坦总体	11.4	17.0	48.9	5.2	1.3	11.4	4.8	16.6

表4 城镇化与生态环境综合水平的空间耦合类型划分

Tab. 4 Spatial coupling type division of urbanization and ecological environment comprehensive level

类型	判断依据	基本特征
HH	UCI⩾0.5, ECI⩾0.5	重点发展区，城镇化与生态环境协调发展
HL	UCI⩾0.5, ECI<0.5	优化发展区，生态环境抗压能力、资源本底和政府响应度相对薄弱
LH	UCI<0.5, ECI⩾0.5	一般问题区，城镇化发展相对滞缓
LL	UCI<0.5, ECI<0.5	重点保护区，城镇化与生态环境均相对滞缓，资源环境承载力相对较弱

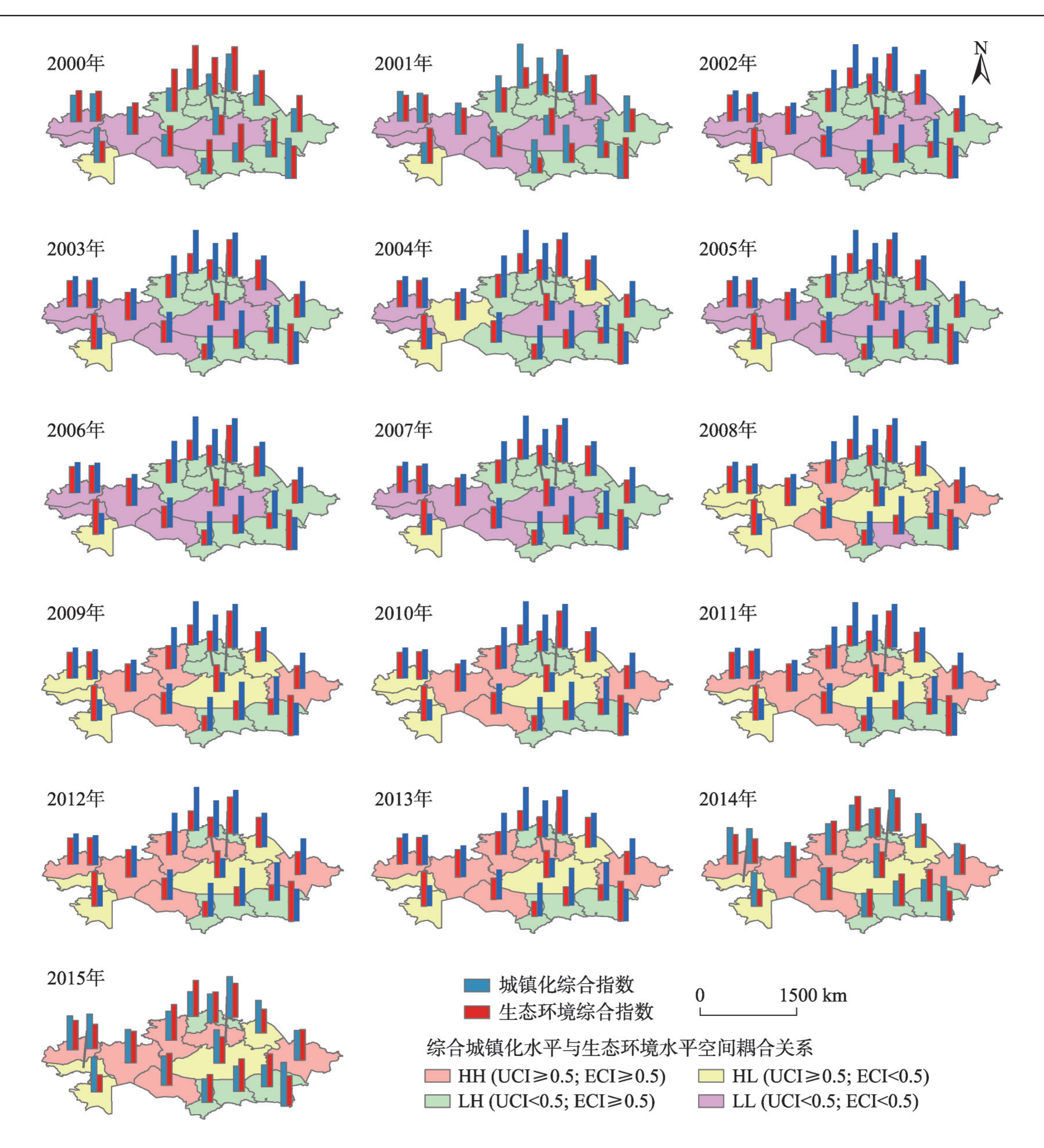
注：HH为城镇化与生态环境综合水平均高；HL为城镇化水平高生态环境水平低；LH为城镇化水平低生态环境水平高；LL为城镇化与生态环境水平均较低；UCI为城镇化综合指数；ECI为生态环境综合指数。

围内，随着城镇化的发展，生态环境治理与保护力度大于生态环境的恶化程度；第二类为农业产值占比相对较高的区域如科斯塔奈州、南哈萨克斯坦和东哈萨克斯坦州，原始处于较低水平城镇化阶段，城镇化发展初期工业污染压力相对较小，而农业用水压力降低，故处于强解耦状态；第三类为城镇化发展速度较快，但生态环境响应度较高的地区，如卡拉干达州，卡拉干达州2006年起步入生态环境高响应阶段，生态环境保护投资、污染物的回收利用及解毒净化率均位于哈萨克斯坦各地州前列。强负解耦主要分布于曼格斯套州，且集中分布于2011—2014年、2007—2009年，归因于人口迁移导致的人口城镇化水平的降低和经济危机导致的油气出口量的下降。

3.3 哈萨克斯坦城镇化与生态环境的静态耦合关系分析

参考已有研究，结合哈萨克斯坦实际，本文对哈萨克斯坦各州城镇化与生态环境综合水平的空间耦合类型进行划分（划分标准见表4），将其空间耦合类型划分为HH型、HL型、LH型和LL型（图5）。

3.3.1 HH型 城镇化水平与生态环境综合水平都较高，城镇化系统与生态环境系统协调良好，是未来重点发展区域。该类区域广泛分布与哈萨克斯坦的西部区、东部区、北部的阿克莫拉州和克孜勒奥尔达州，HH型行政单元由2008年的5个迅速上升到2011年的8个并保持相对稳定。该区域GDP总量为2954.5×10^8 KZT，占整个哈萨克斯坦的



注：HH为城镇化与生态环境综合水平均高；HL为城镇化水平高生态环境水平低；LH为城镇化水平低生态环境水平高；LL为城镇化与生态环境水平均较低。

图5 2000—2015年哈萨克斯坦城镇化水平与生态环境耦合关系的时空变化

Fig. 5 Spatiotemporal changes of UCI and ECI in the states of Kazakhstan from 2000—2015(UCI and ECI means the index of comprehensive level of urbanization and environment)

27.8%。该区域生态环境资源本底较好，生态环境响应度适中，不论是从用水压力还是从工业污染方面的压力均相对较小，具有较大的发展潜力。

3.3.2 HL型 城镇化发展到了较高的阶段，但生态环境水平相对滞后。该类区域主要分布于哈萨克斯坦的中部工业区和西部的石油开采区，以卡拉干达州、巴甫洛达尔州和西哈萨克斯坦州、阿特劳州为代表，综合考虑人均GDP、制造业占比、三次产业结构等，卡拉干达州、巴甫洛达尔州和西哈萨克斯坦州处于工业化中后期阶段，服务业占比较低，因此生态环境压力较大，加上其生态环境资源本底本身比较薄弱，故其生态环境水平相对滞后。

3.3.3 LH型 城镇化发展相对滞后，生态环境资源本底丰富、工业用水与工业污染压力相对较小，是未来可以重点发展经济的区域。该类区域主要分布于哈萨克斯坦的南北部，以北哈萨克斯坦州、南哈萨克斯坦州和江布尔州为代表，按照GDP划分，其主要处于工业化中期阶段，但其工业化与城镇化

水平均较低，未来可以重点培育新兴产业带动经济与城镇化发展。

3.3.4 LL型 城镇化水平与生态环境水平发展均相对滞后。该类区域主要分布在2000—2007年阶段的卡拉干达州、巴甫洛达尔州和西部的石油开采区，尽管其能矿资源相对丰富，但生态资源禀赋薄弱，水资源相对匮乏，再加上2000—2007年其工业化水平处于初级和中期阶段，工业发展相对滞缓、人均收入不高、基础设施条件相对较差，故其处于LL型状态。

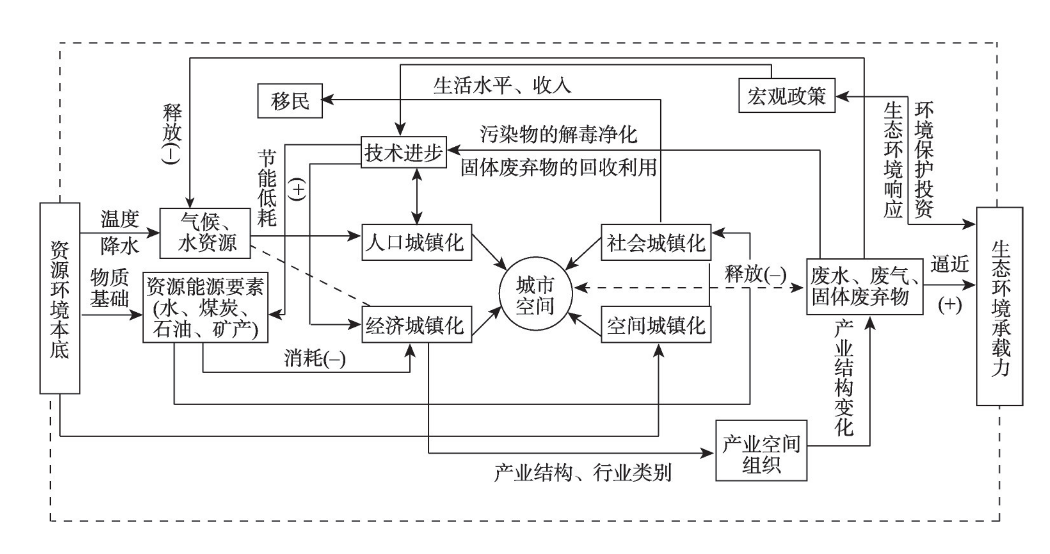
3.4 哈萨克斯坦城镇化与生态环境耦合机理分析

本文在参考国内外文献的基础上，以哈萨克斯坦为例，初步分析了哈萨克斯坦城镇化子系统与生态环境系统及其要素间的相互作用关系及机理（图6），并得出以下结论。

3.4.1 气候、水资源、能源资源共同作用于人口城镇化水平 人口分布不均通常与地区历史经济发展特点密不可分，同时受到该地区的自然气候条件影响。哈萨克斯坦一半以上的面积被沙漠和半沙漠所占据，哈萨克斯坦人口分布除了受到经济发展因素的影响，还受到气候、干旱程度及水资源稀缺性影响。因此，历史上气候自然条件为该国领土内人口的不均匀分布奠定了基础。但在许多情况下，不利的自然气候状况可以通过经济因素得到补偿，其中最显著的为该地区丰富的矿产资源（石油、天然气、金属，煤炭等）吸引了大量人口，而人口的重新分配影响了各区域的人口城镇化水平。

3.4.2 产业结构与规模影响经济城镇化对生态环境的影响边界与强度 2015年，卡拉干达州和巴甫洛达尔州的污染物排放量分别占哈萨克斯坦总排放量的27%和25%，人均污染物排放量明显高于其他地区，这主要受到经济产业结构的影响。卡拉干达州主要分布着大量的大型重工业、煤矿钢铁企业、冶金企业和发电站，导致大量的污染物排放；而巴甫洛达尔州是哈萨克斯坦主要的工业中心，以铝土矿开采、氧化铝和铝的生产、热力发电、炼油和机械工程等为主，污染物排放量也相对较高。纵观2013—2015年哈萨克斯坦工业废弃物的排放，其主要集中卡拉干达州、巴甫洛达尔州和东哈萨克斯坦州，这可以用区域产业类型差异来解释。哈萨克斯坦东部（包括巴甫洛达尔州和东哈萨克斯坦州）的主要废物问题源于采矿和冶金部门产生的有毒废物，其中阿拉木图市的发电厂和金属选矿厂也产生一定的粉尘与废弃物；卡拉干达州的煤炭开采、冶金和化学工业是高污染行业，因此这些地区的污染主要表现为工业污染废弃物。而西部地区的石油与天然气工业规模较大，对生态环境的影响主要归因于碳排放和固液体废弃物。因此，产业结构差异（行业差异）影响着资源消耗、污染类型、排污强度，从而影响对生态环境的破坏能力，产业规模则进一步强化不同行业对生态环境的影响强度。

3.4.3 生态环境压力系统间接影响区域经济城镇化发展 油气资源开采相对活跃的区域面临着高强度的碳排放量，从而影响气候变化，产生连锁反应



注：括号中+、-分别表示正向作用和负向作用。

图6 哈萨克斯坦城镇化与生态环境耦合因素及作用机理

Fig. 6 Coupling factors and mechanism of urbanization and ecological environment in Kazakhstan

影响区域经济城镇化的发展。对于干旱地区而言，水资源是影响其城镇化发展的重要因素[25]。近几年来的研究表明，气候变化将加剧哈萨克斯坦和整个中亚地区的水资源短缺[26]，由于荒漠化和山区冰川的迅速融化将导致中亚地区缺水问题日益严重，预计到本世纪末，中亚地区的冰川将完全消失，将对该地区的水资源供应产生重大影响[27]。长期预测结果表明中亚地区水资源可利用量将大大减少[6]，水资源短缺和用水需求的增加将加剧各经济部门之间在国家和地区层面的用水竞争从而影响区域经济发展。根据世界资源研究所(World Resources Institute)的研究结果，哈萨克斯坦到2040年将面临极高的水资源压力，在全球水资源压力最大的国家中将排名第9位。因此，哈萨克斯坦应尽快采取可持续发展战略，促进生态环境与区域经济协调发展。

4 结 论

本文构建城镇化与生态环境的综合指数，基于改进的Tapio脱钩分析模型，分析了哈萨克斯坦城镇化与生态环境的静态和动态耦合关系，得出以下研究结论：

(1) 哈萨克斯坦综合城镇化高值主要分布于西部的石油开采区、中部的工业区—卡拉干达州和东北部的巴甫洛达尔州，该区域矿物资源(石油和煤气储量)很丰富，是油气开发与重工业发展的重点区域；城镇化低值主要分布于哈萨克斯坦南部和部分北部区域，以农业经济为特点。

(2) 从2000—2015年逐年变化来看，哈萨克斯坦地州城镇化与生态环境解耦关系的动态变化主要表现为强解耦、弱解耦、强负解耦、衰退性解耦和扩张负解耦状态。强解耦广泛分布于城镇化速度变化幅度不大且生态环境响应度良好的区域，农业产值占比相对较高的区域，及城镇化发展速度较快、但生态环境响应度较高的地区；强负解耦主要分布于受移民波动和国际外部经济环境影响较大的地区如曼格斯套州，且集中分布于2011—2014年、2007—2009年。初步分析耦合机理发现，哈萨克斯坦气候、水资源、能源资源共同作用于人口城镇化水平，产业类型与规模作用于经济城镇化与生态环境的影响边界与强度，生态环境压力系统间接影响区域经济城镇化发展。

参考文献(References)

[1] 陈曦, 姜逢清, 王亚俊, 等. 亚洲中部干旱区生态地理格局研究[J]. 干旱区研究, 2013, 30(3): 385-390. [Chen Xi, Jiang Fengqing, Wang Yajun, et al. Characteristics of the eco-geographical pattern in arid land of Central Asia[J]. Arid Zone Research, 2013, 30(3): 385-390.]

[2] Lioubimtseva E, Henebry C M. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptations[J]. Journal of Arid Environments, 2009, 73(11): 963-977.

[3] 邓铭江, 龙爱华, 李湘权, 等. 中亚五国跨界水资源开发利用与合作及其问题分析[J]. 地球科学进展, 2010, 25(12): 1337-1346. [Deng Mingjiang, Long Aihua, Li Xiangquan, et al. An analysis of the exploitation, cooperation and problems of trans-boundary water resources in the five Central Asian countries[J]. Advances in Earth Science, 2010, 25(12): 1337-1346.]

[4] 依再提·乌斯满, 瓦哈甫·哈力克, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 中亚五国二氧化碳排放变化特征及其影响因素[J]. 新疆大学学报(哲学人文社会科学版), 2014, 42(1): 81-86. [Wusiman Yizaiti, Halike Wahapu, Teyibai Taxipulati, et al. Characteristics and influencing factors of Central Asia carbon dioxide emissions[J]. Journal of Xinjiang Science, 2014, 42(1): 81-86.]

[5] Karthe D, Chalov S, Borchardt D. Water resources and their management in Central Asia in the early twenty first century: Status, challenges and future prospects[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 73(2): 487-499.

[6] Deng H, Chen Y. Influences of recent climate change and human activities on water storage variations in Central Asia[J]. Journal of Hydrology, 2017, 544: 46-57.

[7] 叶尔肯·吾扎提, 刘慧, 刘卫东. 1992—2011年哈萨克斯坦城镇化过程及其影响因素[J]. 地理科学进展, 2014, 33(2): 181-193. [Wuzati Yeerken, Liu Hui, Liu Weidong. Evaluation of Kazakhstan's urbanization during 1992—2011 and its influencing factors[J]. Progress in Geography, 2014, 33(2): 181-193.]

[8] Alibekov L, Alibekov D. Causes and socio-economic consequences of desertification in Central Asia[M]. Netherlands: Springer, 2008.

[9] Micklin P. Water in the Aral Sea Basin of Central Asia: Cause of conflict or cooperation?[J]. Eurasian Geography & Economics, 2002, 43(7): 505-528.

[10] Vakhlamova T, Rusterholz H P, Kanibolotskaya Y, et al. Changes in plant diversity along an urban-rural gradient in an expanding city in Kazakhstan, western Siberia[J]. Landscape & Urban Planning, 2014, 132: 111-120.

[11] Akiyanova F Z, Abitbayeva A D, Yegemberdiyeva K B, et al. Problems of desertification of the territory of Kazakhstan: Status and forecast[J]. Life Science Journal, 2014, 11(10): 341-345.

[12] Diem J E, Brown D P. Anthropogenic impacts on summer precipitation in central Arizona, USA[J]. Professional Geographer, 2003, 55(3): 343-355.

[13] Törnqvist R, Jarsjö J, Karimov B. Health risks from large-scale water pollution: Trends in Central Asia[J]. Environment International, 2011, 37(2): 435−442.

[14] Buyantuyev A, Wu J, Gries C. Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: Time, space and thematic resolution[J]. Landscape & Urban Planning, 2015, 94(3): 206−217.

[15] Jiang L L, Jiapaer G, Bao A M, et al. Vegetation dynamics and responses to climate change and human activities in Central Asia[J]. Science of the Total Environment, 2017, 599−600: 967−980.

[16] 石天戈, 时卉. 中亚五国资源环境承载与经济发展耦合协调性分析[J]. 世界地理研究, 2019, 28(6): 32−41. [Shi Tiange, Shi Hui. Coupling relationship between resources, environmental carrying capacity and economy in five Central Asian countries[J]. World Regional Studies, 2019, 28(6): 32−41.]

[17] Kezer K, Matsuyama H. Decrease of river runoff in the Lake Balkhash Basin in Central Asia[J]. Hydrological Processes, 2006, 20(6): 1407−1423.

[18] Issanova G, Jilili R, Abuduwaili J, et al. Water availability and state of water resources within water-economic basins in Kazakhstan[J]. Paddy & Water Environment, 2018, 16(1): 183−191.

[19] 张引, 杨庆媛, 闵婕. 重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J]. 地理学报, 2016, 71(5): 817−828. [Zhang Yin, Yang Qingyuan, Min Jie. An analysis of coupling between the bearing capacity of the ecological environment and the quality of new urbanization in Chongqing[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(5): 817−828.]

[20] 崔木花. 中原城市群9市城镇化与生态环境耦合协调关系[J]. 经济地理, 2015, 35(7): 72−78. [Cui Muhua. The relationship of coupling coordination between urbanization and ecological environment: A case of urban cluster in the Central Plains[J]. Economic Geography, 2015, 35(7): 72−78.]

[21] 谭俊涛, 张平宇, 李静, 等. 吉林省城镇化与生态环境协调发展的时空演变特征[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3827−3834. [Tan Juntao, Zhang Pingyu, Li Jing, et al. Spatial-temporal evolution characteristic of coordination between urbanization and eco-environment in Jilin Province, northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(12): 3827−3834.]

[22] 侯培, 杨庆媛, 何建, 等. 城镇化与生态环境发展耦合协调度评价研究——以重庆市38个区县为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 39(2): 80−86. [Hou Pei, Yang Qingyuan, He Jian, et al. Analysis of coupling degree between urbanization and ecological environment: A case of 38 districts in Chongqing[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2014, 39(2): 80−86.]

[23] 鲍超, 邹建军. 中国西北地区城镇化质量的时空变化分析[J]. 干旱区地理, 2019, 42(5): 1141−1152. [Bao Chao, Zou Jianjun. Spatiotemporal variations of urbanization quality in northwest China[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(5): 1141−1152.]

[24] 刘畅, 邓铭, 冉春红. 东北地区农业现代化与新型城镇化协调发展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(6): 155−162. [Liu Chang, Deng Ming, Ran Chunhong. Research on the coordinated development of agricultural modernization and new urbanization in northeast China[J]. China Population, Resources & Environment, 2017, 27(6): 155−162.]

[25] 鲍超, 方创琳. 干旱区水资源对城市化约束强度的情景预警分析[J]. 自然资源学报, 2009, 24(9): 1509−1519. [Bao Chao, Fang Chuanglin. Scenario warming and analysis of water resources constrain intensity on urbanization in arid area[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(9): 1509−1519.]

[26] 魏巍. 气候变化背景下中亚地区植被与土地退化评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2019. [Wei Wei. Evaluation of vegetation and land degradation in Central Asia under the background of climate change[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2019.]

[27] 杨胜天, 于心怡, 丁建丽, 等. 中亚地区水问题研究综述[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 79−93. [Yang Shengtian, Yu Xinyi, Ding Jianli, et al. A review of water issues research in Central Asia[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 79−93.]

Coupling process and mechanism of urbanization and ecological environment in Kazakhstan

HUANG Jinchuan[1,2,3], NA Ying[1,2,3]

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China;
2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: With the rapid development of global industrialization and urbanization, more and more countries are emphasizing high quality urbanization development and environmental sustainability; however, few dynamic and static studies have conjointly synthetically analyzed the interaction relationship between regional urbanization and the ecological environment. Further, existing studies have rarely included the area from Kazakhstan to Central Asia in quantitative analyses. This paper uses an entropy variation coefficient method and multi-objective fuzzy membership functions to examine Kazakhstan to provide a comprehensive measure of urbanization and the ecological environment and to build a comprehensive index, based on the improved Tapio decoupling analysis model. The urbanization and ecological environment of the static and dynamic coupling relationship was then analyzed. The results indicate that the Kazakhstan urbanization space differentiation is largely influenced by industrial structures and population migration. The oil exploration area, with industry leading the regional urbanization level, is higher. The ecological environment space differentiation is influenced by both industrial structures and ecological environment protection. The main conclusions of this paper are as follows. (1) High values of comprehensive urbanization in Kazakhstan are primarily concentrated in the oil exploitation areas in the west and the industrial areas in middle and northeast Kazakhstan, while low values are primarily concentrated in the southern and part of the northern regions, which are characterized by an agricultural economy. (2) High values of the ecological environment comprehensive level are distributed in Nuer Sultan and Almaty, which are dominated by the service industry and are highly responsive to ecological environment protection, while low values are primarily distributed in the western oil and gas exploitation area with relatively active carbon emissions. (3) The dynamic coupling relationship between urbanization and the ecological environment in Kazakhstan from 2000 to 2015 is primarily in the states of strong decoupling, weak decoupling, strong negative decoupling, declining decoupling, and expansion negative decoupling. Under the influence of industrial structures and the responsiveness of the ecological environment, the dynamic coupling relationship kept changing from 2000 to 2015. Summarizing the coupling mechanism, it is found that the response to ecological environmental protection, urbanization, the total amount of agricultural water, and the international external economic environment are the main driving factors affecting the coupling relationship between urbanization and the ecological environment in Kazakhstan. This paper has an important theoretical significance for high quality development and the sustainable development of urbanization in Kazakhstan. In addition, it has important practical significance for China in the context of making targeted investments in Belt and Road countries.

Key words: ecological-environment; comprehensive urbanization; coupling procedure; decoupling model; Kazakhstan